

Evaluation Numérique et validation analytique du comportement d'une Eprouvette de traction (SENT) en Acier P265 GH

M. LAHLOU^a, A. HACHIM^b, H. OUAOMAR^a, N. MOUHIB^a, F. MAJID^a,
M. EL GHORBA^a

a. Laboratoire de Contrôle et Caractérisation Mécanique des Matériaux et des structures, B.P 8118, Oasis-Route El Jadida – ENSEM / Casablanca, Maroc.

Lahloumohammed89@gmail.com.

b. Institut Supérieur d'Etudes Maritimes, Km 7 Route d'El Jadida Casablanca Maroc, Casablanca, Maroc.

Résumé :

La rupture brutale des pièces mécaniques a généralement lieu dans des zones où il y a concentration des contraintes, c'est à dire à la racine d'un défaut ou d'une entaille mécanique. L'effet de l'entaille se traduit généralement par une augmentation de la contrainte en fond de l'entaille. La répartition des contraintes n'est pas uniforme en particulier au voisinage immédiat du défaut.

L'objectif de cet article est d'établir une modélisation numérique par éléments finis sur une éprouvette de traction (SENT) à l'aide du code de calcul CASTEM2013. Le matériau étudié est l'Acier P265GH utilisé couramment sous forme de tôle dans les chaudières et les appareils à pression.

Les résultats trouvés montrent que les contraintes exhibent une évolution parabolique avec une valeur maximale au fond d'entaille pour se stabiliser à une contrainte égale la contrainte nominale. La longueur de l'entaille critique diminue en augmentant la contrainte.

Abstract :

In a material subjected to a mechanical loading, the stress distribution is not uniform in the vicinity of a defect, causing a stress concentration in this area which result a sudden fracture. Therefore, the effect of the notch is generally reflected by an increase in stress at the bottom of the notch.

The objective of this paper is to establish a numerical finite element modeling for a SENT tensile specimen (Single Edge Notch Tension) using CASTEM2013 computer code. The studied material is P265GH steel commonly used in sheet form in boilers and pressure vessels.

The results show that the stresses exhibit a parabolic trend with a maximum value at the bottom of the notch at first, and then stress stabilization is noticed at the nominal stress value. The length of the critical notch decreases with increasing stress.

Mots clefs : Rupture, Fissures, Eléments finis, Traction , Contraintes

1 Introduction

Grâce au développement de l'informatique, de nombreux secteurs industriels ont vu apparaître un nouvel outil de production devenu actuellement incontournable : la modélisation numérique par la méthode des éléments finis. Cette méthode est une manière numérique de résoudre les problèmes de la mécanique et qui permet de déterminer une solution approchée sur un domaine spatial [1].

Dans les structures métalliques, les fissures s'amorcent le plus souvent au niveau de discontinuités géométriques de type entailles ou défauts. Les paramètres géométriques des structures et des discontinuités gouvernent l'amorçage ou la propagation des fissures et par conséquent la tenue en service ou la résistance de la structure [2]. Dans le domaine industriel, pour des raisons économiques ou de sécurité on cherche à connaître le degré de nocivité des défauts ainsi que la durée de vie résiduelle des structures. Ceci passe par l'établissement de modèles basés sur la mécanique de la rupture. Au niveau des défauts, la distribution des contraintes est relativement complexe et il en est de même pour les quantités relatives à la mécanique de la rupture.

On peut citer les travaux de A. HACHIM [3,4] portant sur l'étude numérique d'une éprouvette bi-entaillée en Acier S355, il a étudié le comportement du matériau en présence du défaut. Y. HIROSHI [5] a étudié le facteur d'intensité de contrainte critique sur les éprouvettes simplement entailées.

Ce travail est consacré à l'analyse par éléments finis d'une éprouvette de traction simplement entailée (SENT).

2 Expérimentation

Pour extraire les caractéristiques mécaniques de l'acier P265GH qui sera utilisé dans notre programme, des essais de traction ont été effectués au centre technique des industries mécaniques Maroc (Cetim). Afin de comparer les caractéristiques dans le sens de laminage, des éprouvettes filetées (figure 1) ont été extraites dans les sens longitudinal et transversal. Les courbes d'essai donnant la contrainte en fonction de l'allongement sont données par la figure 2 :

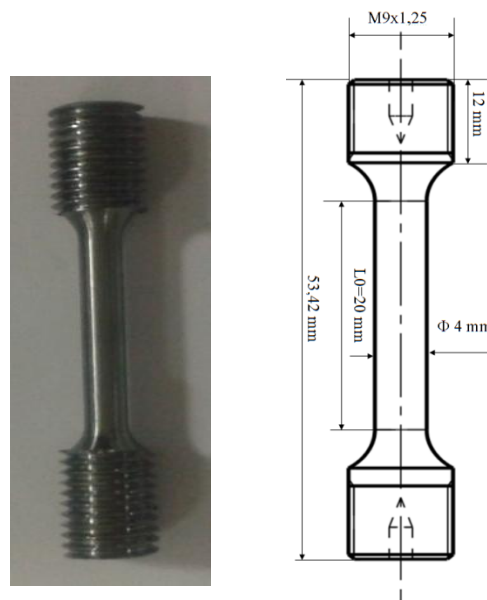


Figure 1 : Dimensions de l'éprouvette filetée

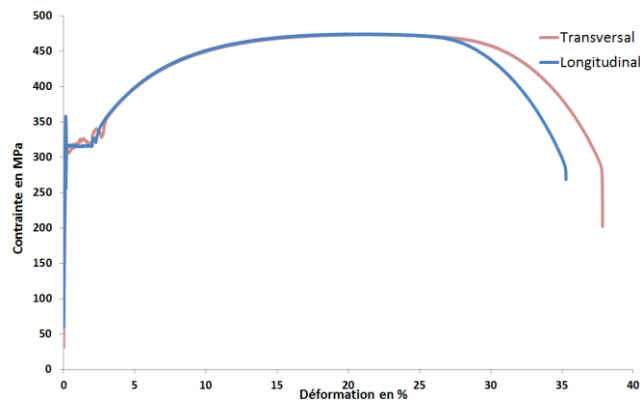


Figure 2 : Courbe de traction

Les principales caractéristiques mécaniques de l'acier P265GH, à la température ambiante, sont reportées dans le tableau 1

Tableau 1 : principales caractéristiques mécaniques de l'acier P265GH

Le module de Young : E (MPa)	La limite d'élasticité : σ_e (MPa)	La contrainte de rupture : σ_g (MPa)	Allongement %	Coefficient de poisson ν
2.10^5	320	470	35	0,3

Nous remarquons que l'allongement est de l'ordre de 35 % qui est supérieur à 14 % exigé par le CODAP[6].

De ce fait, cet acier P265GH est bien adapté pour les structures sous pression.

3 Modélisation numérique

Le code de calcul Cast3m 2013 est utilisé pour construire un modèle éléments finis pour l'analyse de l'éprouvette (SENT) soumise à une sollicitation de traction. Dans ce qui suit, on décrit le modèle éléments finis.

3.1 Géométrie

La géométrie et les dimensions de l'éprouvette à l'étude sont illustrées dans la figure 3. L'étude étant restreinte au mode I, l'éprouvette est soumise à une sollicitation de traction afin de solliciter la fissure en mode ouverture.

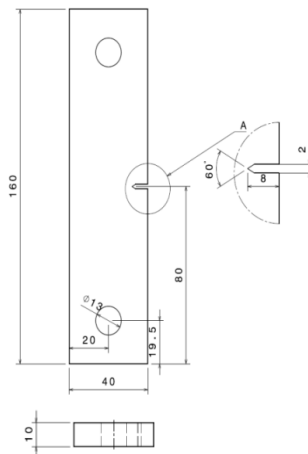
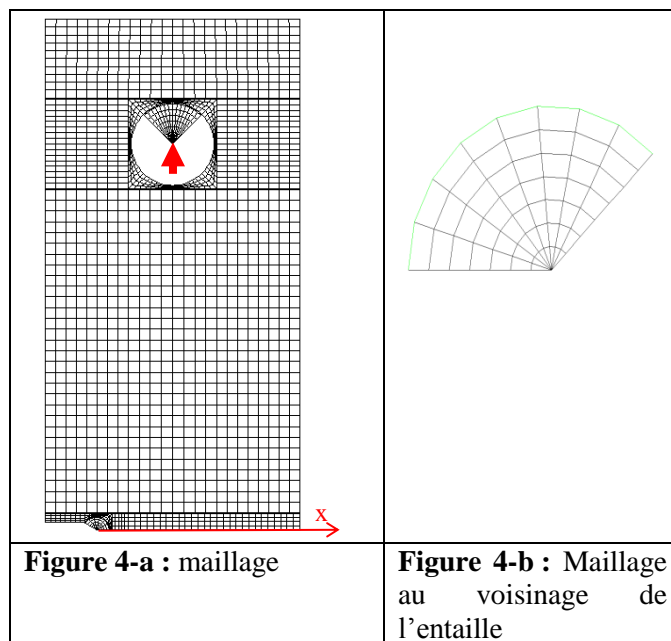


Figure 3 : Dimensions de l'éprouvette à l'étude (mm)

3.2 Maillage et conditions aux limites

Compte tenu de la symétrie du problème, seule la moitié de l'éprouvette est discrétisée. Les résultats numériques étant destinés à une analyse en mécanique de la rupture, une attention particulière est accordée au maillage notamment en fond de fissure et dans son voisinage. Pour ce faire, on utilise un maillage très fin avec des éléments de Barsoum [7]. Les détails du maillage sont illustrés dans les figures 4a et 4b.



3.3 Chargement

Le chargement simulé est une sollicitation en traction selon l'axe longitudinal de l'éprouvette. Afin d'éviter toute flexion ou torsion parasite et de s'assurer que l'effort de traction est parfaitement dans l'axe, ce dernier est appliqué sur l'éprouvette par l'intermédiaire d'un triangle rigide indiqué par la flèche de la figure 4a. Les chargements retenus sont calibrés pour que les contraintes nominales appliquées soient respectivement de 148 MPa, 284MPa et 356MPa.

4 Résultats & discussions

4.1 Evolution de la contrainte dans le ligament

Les courbes de la figure 5 montrent l'évolution de la contrainte dans le ligament de l'éprouvette, ie suivant l'axe x de la figure 4a (origine en fond de fissure) pour les trois niveaux de contraintes appliquées :

$\Delta\sigma = 148 \text{ MPa}, 284\text{MPa}, 356\text{MPa}.$

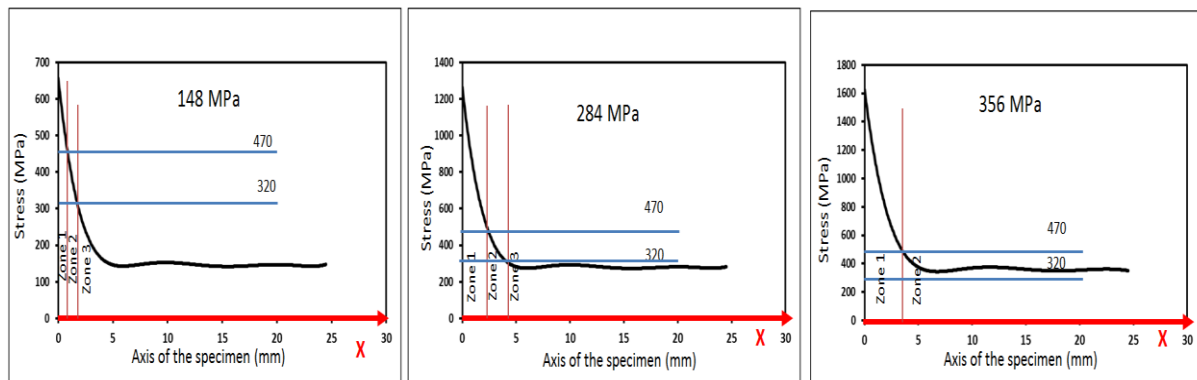


Figure 5 : Evolution de la contrainte de Von-Mises dans le ligament de l'éprouvette pour les trois contraintes appliquées ($\Delta\sigma = 356\text{MPa}$, 284MPa , 148MPa).

- Pour la contrainte **148 MPa**, on distingue trois zones :
 - la **première zone** **[0, 0.5mm]**, au voisinage du fond d'entaille, correspond à des valeurs de contrainte comprises dans l'intervalle **[470, 653MPa]**. La contrainte est maximale qui est de **653 MPa** dépasse la résistance du matériau. La contrainte décroît ensuite jusqu'à la limite de rupture $\sigma_g = 470\text{ MPa}$.
 - Une **deuxième zone** **[0.5, 2mm]** qui correspond à des contraintes comprises dans l'intervalle **[320, 470MPa]**. La contrainte étant supérieure à la limite élastique du matériau, la zone est le siège de déformations plastiques.
 - Une **troisième zone** **[2, 25mm]** qui correspond à des contraintes comprises dans l'intervalle **[148, 320MPa]**. Nous assistons à une diminution légère pour se stabiliser à la valeur limite égale à la contrainte appliquée, qui est inférieure à la limite élastique. Cette zone reste, par conséquent, élastique.
- Pour la contrainte **284 MPa** on relève trois zones :
 - la **première zone** **[0, 1.7mm]** au voisinage du fond d'entaille, correspond à des valeurs de contrainte comprises dans l'intervalle **[470, 1241MPa]**. La contrainte est maximale qui est de $\sigma_{\max} = 1241\text{ MPa}$ dépasse la résistance du matériau. La contrainte décroît ensuite jusqu'à la limite de rupture $\sigma_g = 470\text{ MPa}$.
 - Une **deuxième zone** **[1.7, 4.5mm]** qui correspond à des contraintes comprises dans l'intervalle **[320, 470MPa]**. La contrainte étant supérieure à la limite élastique du matériau, la zone est le siège de déformations plastiques.
 - Une **troisième zone** **[4.5, 25mm]** qui correspond à des contraintes comprises dans l'intervalle **[284, 320MPa]**. Nous assistons à une diminution légère pour se stabiliser à la valeur limite égale à la contrainte appliquée, qui est inférieure à la limite élastique. Cette zone reste, par conséquent, élastique.
- Pour la contrainte **356 MPa** on relève deux zones :
 - la **première zone** **[0, 3.9mm]** au voisinage du fond d'entaille, correspond à des valeurs de contrainte comprises dans l'intervalle **[470, 1567MPa]**. La contrainte est maximale qui est de $\sigma_{\max} = 1567\text{ MPa}$ dépasse la résistance du matériau. La contrainte décroît ensuite jusqu'à la limite de rupture $\sigma_g = 470\text{ MPa}$.
 - Une **deuxième zone** **[3.9, 25mm]** au voisinage du fond d'entaille, correspond à des valeurs de contrainte comprises dans l'intervalle **[356, 470MPa]**. Nous assistons à une diminution légère

pour se stabiliser à la valeur limite égale à la contrainte appliquée, qui est supérieur à la limite élastique cette zone ne subissent qu'une déformation plastique

4.2 Evolution du facteur d'intensité de contrainte

Les courbes de la figure 6 montrent l'évolution du facteur d'intensité de contrainte numérique et analytique (suivant l'équation 1) dans le ligament de l'éprouvette, ie suivant l'axe x de la figure 4a (origine en fond de fissure) pour les trois niveaux de contraintes appliquées : $\Delta\sigma = 148$ MPa, 284MPa, 356MPa.

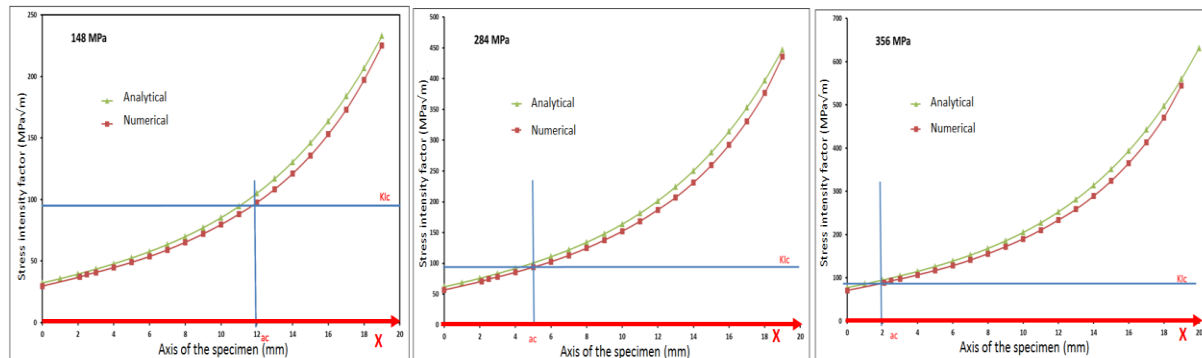


Figure 6 : Le facteur d'intensité de contrainte pour les trois contraintes appliquées ($\Delta\sigma = 356$ MPa, 284MPa, 148MPa)

L'analyse des courbes de la figure 6 montre qu'il y a une augmentation significative du facteur d'intensité de contrainte en fonction de la longueur de la fissure et de la contrainte appliquée.

La variation du facteur d'intensité de contrainte numérique est comparable à celle du l'analytique.

Les valeurs de la longueur de l'entaille critique sont données dans le tableau 2.

Tableau 2 : Les valeurs de la longueur d'entaille en fonction des niveaux de contrainte

Contraintes (MPa)	La longueur de l'entaille critique a_c (mm)
148	12
284	5
356	2

5 Conclusion

Dans le domaine des structures à risque comme les équipements sous pression par exemple, en présence de défaut ou de fissure et pour des raisons de sécurité évidentes, il est fondamental de connaître de manière précise le degré de nocivité du défaut. La modélisation numérique par la méthode des éléments finis est un outil très efficace permettant de répondre à cette problématique. Nous avons réalisé un modèle numérique sur Cast3m 2013 d'une éprouvette de traction (SENT) en vue d'étudier l'évolution de la contrainte et le facteur d'intensité de contrainte dans le ligament de l'éprouvette pour trois niveaux de contraintes appliquées ($\Delta\sigma = 356$ MPa, 284MPa, 148MPa). Pour l'ensemble des résultats, nous constatons que les trois courbes des contraintes exhibent une évolution parabolique pour se stabiliser à une valeur égale à la contrainte appliquée. Les contraintes maximales se situent au niveau de fond d'entaille. La longueur de l'entaille critique diminue en augmentant la contrainte.

Le modèle éléments finis que nous avons adopté pour notre étude est couramment utilisé et peut être étendu aux applications réelles.

Références

- [1] Martin Kempeneers, éléments finis statiquement admissibles et estimation d'erreur par analyse duale, Mémoire de thèse doctorat Université de Liège Faculté des Sciences Appliquées, 31 mars 2006,
- [2] Damien Fournier, Analyse et Développement de Méthodes de Raffinement hp en Espace pour l'Equation de Transport des Neutrons, Mémoire de thèse doctorat Université de Provence Marseille, 10 octobre 2011,
- [3] A. Hachim, Etude numérique et validation expérimentale des mécanismes d'endommagement et de fissuration de l'acier S355 : application aux équipements sous pression, Mémoire de thèse doctorat, Faculté des Sciences-Aïn Chock,Casablanca, 27/04/2013
- [4] A. Hachim, Numerical Evaluation and Experimental Validation of Stress Concentration and Crack Propagation a Bi-notched Specimen of Steel S355, International Journal of Research and Reviews in Mechatronic Design and Simulation (IJRRMDS) Vol. 2, No. 3, September 2012, ISSN: 2046-6234
- [5] Hiroshi Yoshihara, Mode I Critical Stress Intensity Factor of MediumDensity Fiberboard Obtained by Single-EdgeNotched Bending Test ,Original scientific paper • Izvorni znanstveni rad. Accepted – prihvaceno: 6. 2. 2014.
- [6] CODAP: Code de Construction des Appareils à Pression non soumis à la flame 2005
- [7] Barsoum,Furthur application of quadratic isoparametric elements to linear fracture mechanics of plate bending and general shells. Int.J.Num.Meth,Engng , 11,167-169. (1976).